

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統之研究 (二)

計畫類別：☒個別型計畫 ☐整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2211 - E - 032 - 007 -

執行期間：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

計畫主持人：李英豪

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：淡江大學土木工程學系

中 華 民 國八十九年七月三十一日

剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統之研究(二)

Intelligent Consultant System for Concrete Pavement Evaluation and Rehabilitation ()

計畫編號：NSC89-2211-E-032-007

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：李英豪 淡江大學土木工程學系教授

一、中文摘要

本研究主要重點在建立一套有系統的「剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統」之架構與雛型。此「智慧型諮詢系統」可以考慮鋪面每一路段損壞的特質，並兼顧其長期之績效表現、與維修後之生命週期成本，建立更客觀審慎的方法與分析工具，協助工程師評估鋪面路段之狀況並選擇可行的維修策略。本計畫希望利用知識庫專家系統之概念，以電腦化與圖形化的方式彙整決策流程，以更客觀審慎的方法協助工程師評估鋪面路段之狀況，使我國公路的每一路段均能得到最佳的維修養護。

全程計畫共分二年二期，第一期主要的工作包括：(a)剛性鋪面損壞型態、原因之探討與調查手冊之建立；(b)重要鋪面路段資料之蒐集；(c)鋪面現況評估；(d)鋪面在無維修的未來狀況預測；與(e)建議增加必要之物理試驗。本研究(第二期)主要的工作包括：(a)鋪面損壞維修方法；(b)選擇主要的鋪面維修方式；(c)建立詳細的鋪面維修策略；(d)不同維修策略的未來績效預測；與(e)成本分析與最佳維修策略之選取。

本計畫最後並將輔以實際案例之分析，以驗證「鋪面評估與維修智慧型諮詢系統」架構與雛型之適用性與研究成果之正確性。個人深信唯有透過此電腦化之分析工具，才能以更客觀、審慎、與有效率的方式，協助工程師對鋪面路段狀況做最正確的評估，慎選最佳的維修養護策略，使我國有限的公路維修經費做最有效的利用。

關鍵詞：混凝土(剛性)鋪面、專家系統、鋪面管理、評估、養護、維修、破壞調查、ICSMART。

Abstract

This project will focus on the development of a prototype intelligent consultant system for concrete pavement evaluation and rehabilitation. This prototype system is based on the consideration of the existing distress characteristics of individual pavement section, long-term performance, life cycle cost, as well as the integration of a computerized Knowledge-Based Expert System (KBES) program with many friendly graphical user interfaces to assist engineers in selecting the most economical rehabilitation alternatives and strategies.

This project is divided into two phases (two years). The major research approach of the Phase I includes: (a) identification of rigid pavement distresses, causes, and distress identification manual; (b) collection of crucial project data; (c) evaluation of present condition; (d) prediction of future condition prior to rehabilitation; and (e) recommendation of needed physical testing. The major research approach of the Phase II includes: (a) identification of main rehabilitation techniques; (b) selection of major rehabilitation techniques; (c) development of detailed rehabilitation strategy; (d) prediction of future performance; and (e) cost analysis and selection of preferred rehabilitation strategy alternatives.

The applicability of this prototype system will be further validated through practical case studies of domestic jointed concrete pavement sections. It is strongly believed that the most objective, accurate, and efficient way in selecting preferred rehabilitation strategy alternatives can only be achieved through such a computerized intelligent consultant system so as to assure the best use of our limited resources for pavement rehabilitation.

Keywords: Concrete (Rigid) Pavement,

Expert System, Pavement Management, Evaluation, Maintenance, Rehabilitation, Distress Identification, ICSMART.

二、計畫緣由與目的

國內目前的鋪面維修計畫，主要仰賴工程師以人工作業的方式來執行，在實際應用上有時效性過慢與客觀性不足等問題。此外，有經驗的工程師亦無法有效地將其長年累積的知識與經驗，傳承給新進的工程師。因此，本研究之主要目的在於利用知識庫專家系統之概念，有系統的彙整鋪面專家與資深工程師之知識與經驗，以此建立一套系統化之「剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統」之架構與雛型。此諮詢系統將可有效的診斷鋪面破壞成因、評估鋪面現況，提供兼具經濟效益與修正鋪面缺失之可行維修技術與策略的選擇，並可兼顧鋪面長期的績效表現與維修後之生命週期成本。此外，本系統亦以電腦化及圖形化之方式彙整決策流程將「剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統」建成一具備人性化互動介面之程式。並期望能將鋪面專家與資深工程師之知識與經驗融入系統中，以協助工程師選擇最佳之鋪面維修決策。

三、研究方法與過程

3.1 鋪面現況評估與未來狀況預測

本計畫於第一期研究中採用較具有彈性且易於管理與分析的「均質路段」概念作為鋪面路段分割的方式。再者，研究中參考美國鋪面長期績效評估 (LTPP) 計劃並與國內外鋪面評估維修的相關研究，建立一套適合於國內使用的剛性鋪面調查手冊。此外，研究以知識庫專家系統 EXPEAR 之決策樹為藍本，配合國內相關研究，建立一套適合國內鋪面之決策樹，以評估鋪面現況破壞成因與建議因應對策。又因國內尚未建立相關的本土化鋪面預估模式，因此本研究暫時選用 EXPEAR 知識庫專家系統中混凝土鋪面的破壞預估模式，並以垂直校估之方式來校正，以符合國內現況。

本研究(第二期)中針對第一期之錯誤及未完善處進行修改與除錯之工作，以使鋪面評估系統能更趨完整。

3.2 剛性鋪面維修方法

本研究(第二期)參考 FHWA 在 1998 所公布最新之鋪面維修技術訓練手冊 (Techniques For Pavement Rehabilitation, A Training Course) 與國內剛性鋪面之維修方式探討剛性鋪面維修方法。維修方式可分為預防性、矯治破壞和大型整修三種維修方式。

預防性維修方式是指鋪面在有輕微之裂縫時，為避免進一步之破壞而採用之維修方式。常見的預防性維修方式包括下列四種：填縫 (Resealing Joint and Crack)、填縫料之更換 (Sealant Replacement)、接縫及裂縫處荷重傳遞能力之維持 (Restoration of Load Transfer)、地下排水 (Subdrainage)。

矯治破壞維修方式包括下列四種：針對情況惡化之接縫、裂縫或整塊板塊所採用之全厚度修補 (Full-depth Repair)、在鄰近接縫和裂縫板塊惡化部分所採用之部分厚度板塊修補 (Partial-depth Repair)、修正斷裂、剝落及路面磨光所採用之表面刨除 (Diamond Grinding of the Surface)、版基底層的穩定與版升高法 (Slab Stabilization and Slab Jacking)。

此外，在鋪面整體破壞相當嚴重時需進行大型整修，在傳統的鋪面大型整修方法則可分為鋪面重建及加鋪兩種。

3.3 維修決策流程

本研究在建構剛性鋪面維修決策流程時，以鋪面現況評估決策的結果作為維修選擇的依據。在評估決策作業完成時會得到各個評估之結果，而這些評估結果就代表鋪面發生的破壞方式以及相對應之鋪面維修養護的方式。

本研究以 EXPEAR 程式中之維修決策流程為藍本，將其分為主要維修策略與細部維修策略兩類。主要鋪面維修策略是以鋪面結構破壞評估流程之結果作為分類選擇之依據，其流程如圖 1 所示，決策結果主要可分為鋪面重建、鋪面修護與鋪面加鋪等維修策略。而細部維修策略則依照主要維修策略之決策，並配合鋪面現況評估的結果，決定更細部的維修工作。

例如，主要維修策略決定實施鋪面加鋪

後，細部維修策略又可將之分為黏結式混凝土加鋪、非黏結式混凝土加鋪、瀝青混凝土結構性加鋪以及將原有鋪面敲碎滾壓（Crack and Seat）後再進行瀝青加鋪四種方式。

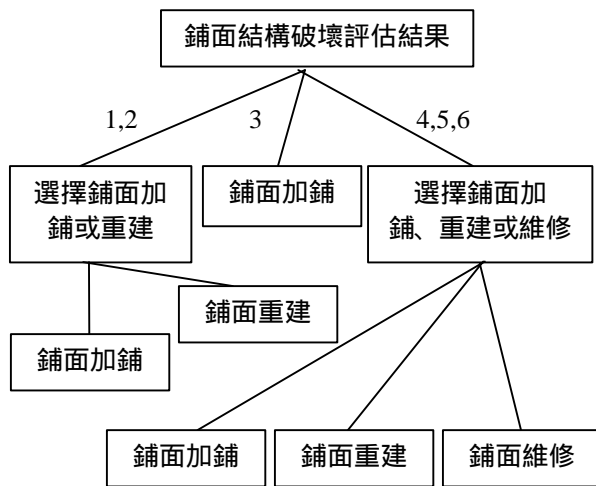


圖 1 鋪面主要維修策略

3.4 鋪面維修後績效預估

目前發展鋪面專家管理系統最大之障礙在於相關之預測模式無法完全準確的預估鋪面未來之情況。如何準確地預測鋪面未來的服務績效，是鋪面管理系統最重要的核心，唯有精準的預測鋪面之服務績效與鋪面未來破壞的狀況，鋪面管理者才能在鋪面破壞前進行維修養護的工作，以維持鋪面在最佳服務績效的狀況、延續鋪面的使用年限，進而使有限的資源得到最佳的經濟效益。

本計畫鑑於執行時間與資源之限制，以及國內剛性鋪面仍處於萌芽時期，相關調查資料取得不易，故難以有效地建立屬於台灣地區的鋪面預估模式。因此，研究中關於鋪面維修後的績效預估則採用 EXPEAR 程式中所提供的鋪面績效預測模式，以補充本研究之完整性。

本研究依照剛性鋪面的六個主要的維修策略來進行績效模式之分類。其中各項維修策略是以該種維修方式的主要評估因子來作為鋪面績效評估的標準。如在混凝土加鋪的維修策略中，就是以高差、接縫破壞與嚴重裂縫作為評估的因子，因為這三項因子正是混凝土加鋪後影響鋪面績效的重要指標。

本研究在系統建構時，考慮到未來可加入

專屬於台灣地區的鋪面績效預測模式，在程式構建上以物件導向程式中「模組」的概念來建構，待未來可將新構建的預測模式更替上。

3.5 成本分析

本系統可利用鋪面破壞數量的計算及所選擇的維修技術，配合使用者提供的單位維修成本與其他條件，便可決定鋪面維修策略所需成本。至於維修後該路段之預期壽命（或生命週期），則可根據使用者自訂的主要破壞的臨界值（或門檻值）來認定破壞何時到達無法接受的程度，當中應以所有破壞中第一個達到臨界水平的時間來決定其年限值。最後進行維修策略的生命週期成本分析，可以將鋪面維修總成本算出。鋪面維修策略總成本可以現值（PW）與等值年金（EUAC）等方式表示，如公式 1 所示：

$$PW = EUAC \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (1)$$

其中：i=折現率，n=期數。

在使用者進行不同維修策略之選擇、組合後，即可得到不同之鋪面生命週期分析，並可依此分析選擇最佳之維修策略。

3.6 ICSMART程式之建立

本計畫於第一期之研究完成時，已應用專家系統之概念、配合電腦化及圖形化之方式，構建一套具備良好親和力之互動介面程式『智慧型鋪面養護與維修技術諮詢系統』（Intelligent Consultant System for Pavement Maintenance And Rehabilitation Technologies, ICSMART)之評估系統雛形。

本研究（第二期），首先針對上述程式之錯誤及未完善處進行修改與除錯之工作，以利程式之運作。再者，研究中綜合本期研究所得之概念與研究成果，將鋪面維修諮詢系統之架構、維修後之績效預估與成本分析之方法加入 ICSMART 程式中，將其編寫成一套擁有良好使用者介面的視窗軟體程式，如圖 2 所示。此外，本研究為了讓 ICSMART 程式具有後續發展之延續性與修正之簡易性，特將程式以模組化之概念來撰寫程式。



圖 2 ICSMART 程式之輸出圖例

ICSMART 程式僅需利用鋪面個案的基本設計資料與破壞調查資料，即可針對可能有問題的鋪面個案路段進行鋪面破壞的現況評估，並將結果依各種不同的破壞型態加以彙整，進而推斷出鋪面的破壞成因。此外，本程式在輸入調查所得的鋪面相關資料後，可由系統內的預估模式預測未來的鋪面狀況，並以圖形化的表示方式加以輔助，如圖 3 所示，為鋪面績效之預測圖。

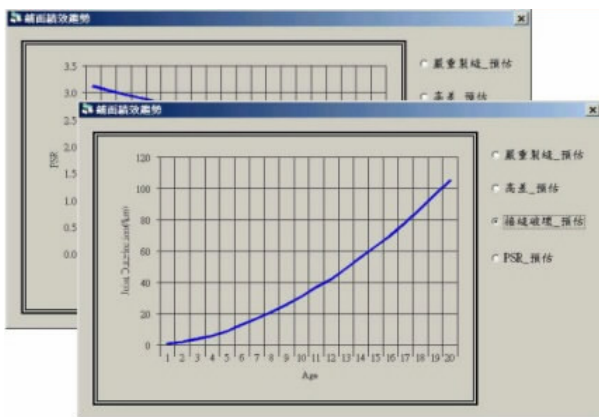


圖 3 鋪面趨勢預估圖

在鋪面維修系統方面，使用者在進行鋪面現況評估後即可利用程式所提供之鋪面維修策略選單來選擇鋪面的維修方式，進而利用鋪面維修後的績效預測以及鋪面生命成本週期分析來瞭解鋪面維修的經濟效益，並可依此分析來選擇最佳之鋪面維修策略。

四、結論與建議

4.1 結論

本計畫執行年度第一期之具體研究成果可歸納為以下數點：

1. 本研究參考美國長期鋪面績效研究之標準調查手冊以及國內相關研究，建立一套適用於國內剛性鋪面之標準調查手冊，並綜合鋪面各項破壞之成因，以提供鋪面維修養護人員之參考依據，建議適當且最經濟之維修方式，避免日後鋪面重複破壞。
2. 本研究使用 EXPEAR 專家系統決策樹的概念，配合國內目前鋪面狀況與規定標準，找出鋪面各項破壞成因，以建立一套適合國內之決策標準。
3. 由於目前國內尚無足夠鋪面資料，因此本研究目前暫時引用國外預估模式，對鋪面未來破壞狀況進行預估。在未來資料充足情況下，能以回饋修正方式修改，使鋪面未來破壞情況，得到有效預測。

本計畫執行年度第二期之具體研究成果可歸納為以下數點：

1. 本研究針對計畫第一期之相關研究結果、ICSMART 程式雛形之錯誤及未完善處進行修改與除錯之工作。
2. 本研究參考 FHWA 之鋪面維修技術訓練手冊及國內相關資料，進行全盤性的剛性鋪面維修方法之探討。
3. 本研究採用 EXPEAR 程式之維修決策及鋪面維修後績效預估模式，並參考國內之實際現況來進行系統化鋪面維修的決策與鋪面績效之預估。
4. 本研究應用鋪面生命週期成本分析，建立自動化成本分析流程與架構，以協助鋪面最佳維修策略之選取。
5. 本研究延續第一期計畫，採用程式模組化之概念，建構並修正『智慧型鋪面維修養護技術諮詢系統』(ICSMART)視窗軟體程式，此程式在執行上無須龐大資料庫，僅需鋪面個案路段之細部資料，並具備容易更新修改之特性。
6. 本研究以實際之剛性鋪面評估與維修案例進行分析，以此驗證 ICSMART 程式之適用性與研究成果之正確性。

4.2 建議

1. 本研究所擬定之鋪面破壞調查手冊，期望能早日成為各公路基層單位調查的標準，以使鋪面破壞調查能提供我國鋪面管理系統一個共通的量測標準及一致的鋪面破壞資料。
2. 本研究未來擴增的功能，可朝圖形化記錄鋪面破壞狀況方式研究發展，使鋪面破壞調查方式符合國內調查人員慣用方法，並以圖形化方式展示鋪面調查綜合資料。此外，在個案階層管理方式與路網管理方式相結合後，在各路網中以個案階層為基本單位，針對鋪面調查資料回饋修正，使服務能力不足之鋪面加以維修養護，讓全面性鋪面管理理念早日完成。
3. 本計畫對於鋪面現況評估決策樹之訂定雖然是以國內鋪面的情況為考量，但考慮到國內鋪面仍存在許多資料不足等因素。研究中建議使用國外相關的研究成果，再不斷的以國內現況資料回饋修正比較所引用決策樹之適用性。期盼未來對國內所能蒐集之鋪面破壞資料修正，以期能真正的反應國內鋪面現況。
4. 本研究目前究採用 EXPEAR 之鋪面維修策略作為現階段之維修策略，未來建議對國內剛性鋪面維修專家及學者進行本土剛性鋪面維修策略之問卷調查與訪談，以建立台灣地區之剛性鋪面維修策略。
5. 本計畫所完成之程式，在未來應能結合目前逐漸發達之電腦網路系統，不再侷限於個人作業系統上，並可連結各路段現有之調查資料加以處理評估。
6. 建議未來可利用美國長期鋪面績效研究（LTPP）之資料，嘗試建立本土化鋪面績效預估模式。並整合非破壞檢測資料，利用 TKUBAK 程式回算鋪面結構強度，以建議適當的鋪面養護與維修策略，讓國內有限的維修經費做最經濟有效的利用。
7. 建議未來之系統可朝向多媒體功能之發展，提供有關鋪面破壞及維修之多媒體資訊，使使用者可進行鋪面評估與維修相關知識之學習。而在系統之更新上，亦可加入自動更新、修正之介面，使系統更具彈性及適用性。

五、參考文獻

1. SHRP, "Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project, "SHRP-P-338, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., May, 1993.
2. Federal Highway Administration, "Rehabilitation of Concrete Pavements," Volume : Concrete Pavement Evaluation and system Rehabilitation, July, 1989.
3. Huang, Y. H., "Pavement Analysis and Design, " Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
4. Haas, R., W. R. Hudson, and J. Zaniewski, "Modern Pavement Management," Krieger Publishing Company, 1994.
5. Paterson, W. D. O., "Road Deterioration and Maintenance Effect: Models for Planning and Management," The Highway Design and maintenance Standards Series, the World Bank, Washington, D.C., 1987.
6. Saraf, C. L. and K. Majidzadeh, "Distress Prediction Models for a Network-Level Pavement Management System," Transportation Research Record 1344, 1992.
7. Al-Omari, B. and M. I. Darter, "Relationships between IRI and PSR," UILU-ENG-92-20013, September, 1992.
8. FHWA, " Techniques For Pavement Rehabilitation, A Training Course, " Final Edition, 1998.
9. 周家蓓, "台灣地區一般公路鋪面養護管理系統建立之研究", 交通部運輸研究所, 民國 82 年 10 月。
10. 交通部國道新建工程局, "剛性路面實用設計本土化研究, 期末報告", 民國 82 年。
11. 張建彥, "剛性鋪面破壞整修管理系統建立之研究", 台灣大學土木工程研究所博士論文, 民國 85 年 12 月。
12. 李英豪, "剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統（一）", 國科會研究計畫, 民國 88 年 7 月。
13. 交通部台灣區國道高速公路局, "中山高速公路路面養護管理系統電腦實務運用, 期末報告", 財團法人 台灣營建研究院, 民國 86 年 12 月。